

ASZÁLYVIZSGÁLAT LEHETŐSÉGE MODIS MŰHOLDKÉPEKBŐL SZÁMÍTOTT SPEKTRÁLIS INDEXEKKEL MAGYARORSZÁGON

GULÁCSI András, KOVÁCS Ferenc

SZTE TTIK Környezettudományi Intézet
6701 Szeged, Pf. 653., e-mail: gulandras90@gmail.com
SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék
6722 Szeged, Egyetem utca 2-6., e-mail: kovacs@geo.u-szeged.hu

Kulcsszavak: aszály, távérzékelés, MODIS, spektrális index, monitoring

Összefoglalás: Az aszály hatása a növényzet biofizikai állapotváltozásának jellemzésével, a műholdas távérzékelési adatok alapján számítható spektrális vegetáció- és vízindexekkel és az ezekből képezhető aszályindexekkel számszerűsíthető. A differenciált vegetációindex (DVI), a normalizált differenciált vegetációindex (NDVI) és a továbbfejlesztett vegetációindex (EVI), valamint a differenciált vízindex (DWI) és a normalizált differenciált vízindex (NDWI) értékeket alkalmaztuk, hogy a belőlük számolható differenciált- (DDI) és a normalizált differenciált aszályindex segítségével összehasonlíthó elemzéseket végezzünk. Az adatsor igazolta, hogy a vízindexek nagyon érzékenyen reagálnak az aszályos körülményekre. A MODIS műholdkép alapú vizsgálatunkban a DDI és az NDWI teljesített a legjobban, amit bizonyít a Pálfai-féle aszályindexszel (PAI) fennálló szoros kapcsolatuk. Az indexek Pálfai-féle aszályindexre (PAI) történő átszámításával, kielégítő pontosságú, 8 napos PAI-értékeket tudunk meghatározni MODIS műholdképek alapján.

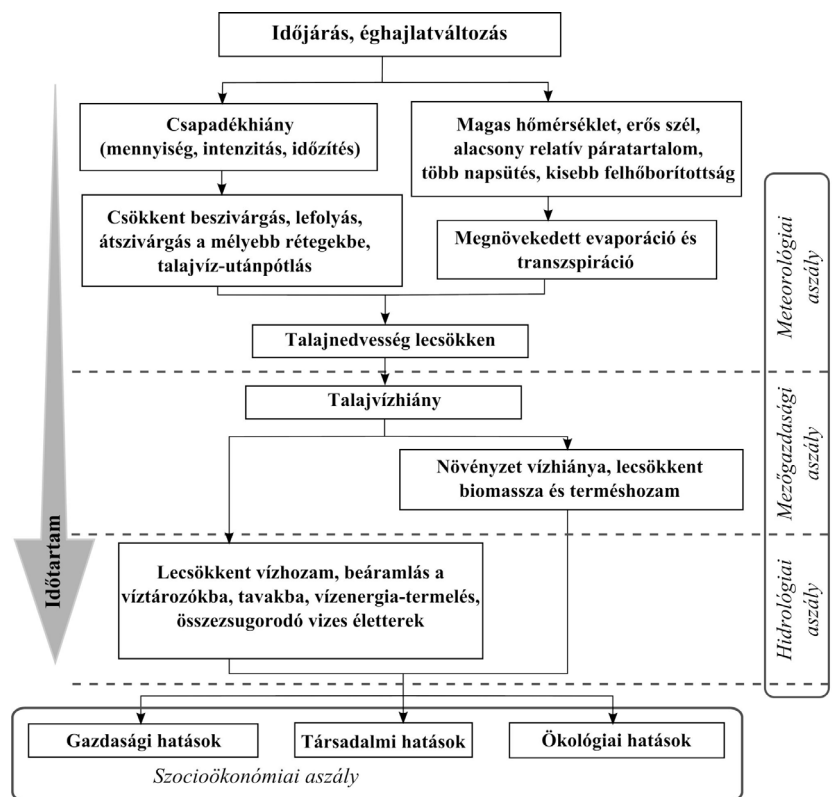
Bevezetés

Napjaink egyik megoldásra váró környezeti problémája a Kárpát-medencében a vízhiány, amely egyike a legnagyobb veszélyeknek és különösen a mezőgazdaságnak okoz komoly károkat az aszályos években (RAKONCZAI 2011). Vízhiányról akkor beszélhetünk, ha a társadalmi és az élővilág támasztotta igényeket a vízkészlet alulmúlja. Ezt okozhatja a rendelkezésre álló erőforrások szűkössége, azok elégtelen kihasználtsága és/vagy a társadalmi igények megnövekedése. Amikor a vízigényt a csapadék nem képes kielégíteni, mert a várthoz, illetve a normálshoz képest nagy hiány jellemző, amely a tenyészidőre vagy hosszabb időszakra is kiterjed, akkor – Nemzetközi Öntözési és Vízrendezési Szövetség (International Commission on Irrigation and Drainage) útmutatója szerint – aszályról beszélhetünk.

Az aszály nehezen definiálható, mivel nehezen meghatározható a kezdete, a vége, nehéz számszerűsíteni a hatásait. A légköri aszályt a sokévi átlagnál lényegesen kevesebb lehullott csapadék jellemzi, ehhez párosul az átlagot meghaladó léghőmérséklet és az alacsony relatív nedvességtartalom (1. ábra). Ez közvetlenül érinti a mezőgazdasági termelést (mezőgazdasági aszály), amely legtöbbször szemmel és műholdról látható a növények fiziológiai állapotán, és jelentősen csökkentheti a termésmennyiséget. Ennek hosszától és erősségétől függően a talajnedvesség-tartalom a hasznosítható vízkapacitás tört részére csökken (talajaszály). Ha a vízgyűjtőt meteorológiai aszály sújtja, akkor a tározók, tavak és folyók vízszintje, illetve vízhozama lecsökken (hidrológiai aszály) (PÁLFAI 2004, SZALAI 2012). Az aszály jelentőségét helyi sajátosságok is módosítják; pl. porózusabb, vastagabb termőrétegű talaj több hasznosítható vizet tud befogadni és tározni, így a homok-, az agyagtalajok, szikesek hátrányosak. A mezőgazdasági aszálynál pedig figyelembe kell venni a gradációk ráerősítő hatását, amelyre jó példa a 2014. évi pocokfelszaporodás (NÉBIH 2014).

A tartósan fennálló aszály miatti gazdasági károk mellett társadalmi károk is jelentkeznek (pl. árdrágulás, vízkorlátozás), valamint az aszály felerősítheti a társadalmi rétegek alapvetően is meglévő sebezhetőségét (WISNER et al. 2004). Szocioökonómiai aszályról beszélünk, amikor a gazdasági javak iránti kereslet, a vízellátáshoz kötődő természetes deficit eredményeképpen, meghaladja a kínálatot (WILHITE és GLANTZ 1985). Az ökológiai hatásokhoz értendő

az aszályok élővilágra gyakorolt közvetett hatásai, pl. a legyengült egészségi állapotú erdőket a kártevők könnyebben támadják meg, az erdőtüzek kitörését elősegíti a száraz avartakaró, a tavak vízszintjének csökkenése és vízhőmérséklet emelkedése káros a halállományra nézve stb., amelyek gazdasági kárral is járnak.



1. ábra Különböző aszálytípusok kialakulásának folyamata (National Drought Mitigation Center alapján)
Figure 1. The process of formation of different drought types (National Drought Mitigation Center, modified)

Az aszály sokkal inkább relatív, mint abszolút állapot, amelyet minden régióban és minden élőlénycsoportra külön kell értelmezni. Minden aszály különbözik a másiktól intenzitásában, időtartamában, területi kiterjedésében. Mezőgazdasági szempontból az aszály egy adott szántóföldi, illetve erdőterületen lévő növényállomány tartós és jelentős mértékű vízhiánya, ami nagymértékben behatárolja a növény életfolyamatait. Növény nélkül a mezőgazdasági aszály nem értelmezhető, mert az egyes növények különbözőképpen reagálnak az azonos mértékű szárazságra (VERMES 2000).

Az aszály gyors és költséghatékony értékelésével, esetleg előrejelzésével, lehetővé válhatna a vízviesszatartás rugalmasságának növelése. Optimalizálni lehet a vízelosztást, annak megfelelően, hogy hol van nagyobb szükség a vízre. Fel lehet készülni a szárazságra öntözési és ökológiai célú víztöbblet előre betározásával. A vízügyi szervezetek működését segítő operatív munkában kihagyhatatlan a távérzékelési módszertan. Jelen tanulmány célja a monitoring lehetőségének a vizsgálata, de ez a későbbiekben jó alapot teremthet az előrejelzés kidolgozásához.

Az aszályérzékenység és néhány mutatószáma

Az aszályosság téridőben való nyomon követésére számos meteorológiai (statisztikai) és távérzékelési módszereken alapuló mérőszám létezik; több mint 100 index ismert (ZARGAR 2011). A PALMER által leírt (1965), csapadék, hőmérséklet és talajnedvesség adatokból számítható Palmer-féle aszályossági indexet (PDSI), hazai mintaterületen is alkalmazták (HORVÁTH 2002). A népszerű standardizált csapadék indexhez (SPI) legalább 30 év hosszú csapa-

dék adatsorra van szükség. Az adatsor empirikus valószínűségi eloszlására illesztett gamma eloszlást kell normál eloszlássá transzformálni; a valószínűségek lesznek az SPI értékei (McKEE ET AL. 1993). A módszer magyarországi elemzésekben is népszerű (DMCSEE 2010-14, BLANKA ET AL. 2014). Az evapotranspiráció és a potenciális evapotranspiráció hányadosából (ET/PET), illetve az NDVI-ből számítható aszályossági index (DSI) értékeit MU et al. (2013) MODIS szenzorokra alkalmazta.

A Magyarországon általánosságban elterjedt Pálfai-féle aszályindex (PAI) meteorológiai (napi hőmérséklet, napi csapadék) adatsorokból képezhető alapértékét korrekciós (empirikus) tényezőkkel megszorozva kapjuk meg a tényleges aszályindex-értéket, a PAI-t (PÁLFAI 1989). FIALA et al. (2014) az index egyszerűbben használható formájával, a havi középhőmérséklettel és havi csapadéértékekkel számoló PaDI (Palfai Drought Index) térinformatikai feldolgozásával elemez magyar és szerb területeket.

NÉMETH et al. (2004) mezőgazdasági aszályérzékenységi térkép készítése során az évi csapadékösszeg sokévi átlagát, a talajvíz mélységét, a lejtőkitettséget és a lejtőszöget, a talajtani jellemzőket (vízgazdálkodás, genetikai talajtípus, stb.), a földhasználatot az aszályt elősegítő, illetve az aszályt csökkentő voltak szerint súlyozta, összegezte. A tanulmányunkban vizsgált, multispektrális szenzoradatokra támaszkodó spektrális indexek alkalmasak lehetnek a módszer kiegészítésére, vagy önálló vizsgálatra kis és nagy léptékben egyaránt. KOVÁCS (2012) a normalizált differenciált vegetációindex (NDVI) és a továbbfejlesztett vegetációindex (EVI) szerint meghatározott biomassza-produktivitás idősora alapján határozta le aszályveszélyes területeket.

Anyag és módszer

A MODIS Terra műholdképekre számított aszályindexek alkalmasnak bizonyulhatnak az aszály rövid távú téridőbeli változásainak a nyomon követésére, regionális léptékben. A nagy, 1 napos időbeli felbontás lehetővé teszi a környezeti változások folyamatainak a vizsgálatát. Az adatfeldolgozás során számos, gyárilag előre kalibrált terméket állítanak elő, melyek ingyenesen elérhetők (pl. USGS DATAPOOL adatbázis). A kompozitképek az eredeti műholdképpixelek optimális kiválasztása alapján 8 vagy 16 napos időszakból származó felvételekből tevődnek össze. A kompozitkép cellaértékek mindig a legjobb adatminőségű képponthokból állnak (VERMOTE és KOTCHENOVA 2008). A kiválasztás kiterjed a megfigyelési-, megvilágítási geometriára, a légkör állapotára és a felhőzet mennyiségére. Július első fele az egyik legalkalmasabb időpont, a növények csapadékgényének fontos szerepe miatt (PÁLFAI 2004), viszont aratás után már nem célszerű időpontot választani, mert a szántóföldek így aszályosnak osztályozódhatnak (a búza aratásának ideje Magyarországon június végétől július közepéig tart). Az ettől eltérő gyakorlat és más kultúrák, valamint egyéb felszínborítási kategóriák természetesen bizonytalanságot visznek a módszerbe. Vizsgálatainkhoz egy júniusi és egy júliusi időpontot választottunk.

Az aszályindex számításához a MOD09A1 (Collection 5) 8 napos, 500 méteres felbontású felszíni reflektancia kompozitképeket (Surface Reflectance 8-Day L3 Global 500m SIN Grid) használtuk (1. táblázat). A sávok értékei meg vannak szorozva 10000-el, amin a számítások során nem változtattunk. A júniusi időpont: 9–16. (illetve 10–17.), míg a júliusi felvételek döntő része a 12–19. (illetve 11–18.) közötti időszakból származik. Különböző időpontokat a kedvezőtlen felhőborítás miatt választottunk.

1. táblázat A MOD09A1 8-napos felszíni reflektancia kompozitkép spektrális sávjai (VERMOTE és KOTCHENOVA 2008)

Table 1. Spectral bands of MOD09A1 surface reflectance 8-day composites (VERMOTE and KOTCHENOVA 2008)

MOD09A1 sávok	hullámhossz (nm)
1 (vörös)	620-670
2 (közeli infravörös)	841-876
3 (kék)	459-479
4 (zöld)	545-565
5 (SWIR 0)	1230-1250
6 (SWIR 1)	1628-1652
7 (SWIR 2)	2105-2155

* SWIR: short-wave infrared

Az 16 napos összesítésű, 500 méteres részletességű EVI kompozitképeket készen kapjuk; MOD13A1 EVI (Vegetation Indices 16-Day L3 Global 500m SIN Grid). A felvételek június 9–24. (illetve 10–25.) és július 11–26. (illetve 12–27.) közötti időintervallumból valók. A MODIS katalógus H/V 19/4 (Lat/Long 45/21,2) felvételeit töltöttük le az adatbázisból, összesen 60 db felvételt dolgoztunk fel. A kompozitképek nem teszik lehetővé a MODIS napi időfelbontását kihasználó 8, vagy 16 napnál rövidebb időskálán bekövetkező változások megfigyelését, de a rendelkezésre álló adatbázis még így is jó időfelbontású és hosszabb időtartam vizsgálatára ad módot.

A spektrális sávokhoz készített minőségellenőrző és állapot sávok (Quality Control és State Flag) pixelenkénti információt szolgáltatnak az adatok minőségéről, pontosságáról, következetességéről (pl. felhőborítás és -árnyékolás, hibás detektor, extrém kiugró érték, aeroszolok mennyisége, a nap zenitszöge). A minőség- és az állapotsávok az adatokat decimális számokként tárolják, amelyet át kell konvertálni 32, illetve 16 bites bináris sorozatokká, hogy kinyerjük belőlük a képpontok kiértékeléséhez szükséges információkat.

A MODIS adatok vizsgálata előtt ki kell zárni a hibás, pontatlan vagy következtelen értékekkel rendelkező képpontokat. A minőség, a felhőborítás és a felhőárnyék maszk kinyerése a 32/16 bites bináris minőség- és állapotsávokból történt, amelyhez az eszközök egy részét a MODIS szárazföldi minőségértékelő csoportja bocsátotta a felhasználó közösség rendelkezésére (ROY et al. 2002). Általános szabály, hogy a kisebb értékek jobb (0 a legjobb), míg a magasabb értékek rosszabb minőséget jelölnek. A helytelen pixelértékek a spektrális sávok előre definiált nincs adat értékét kapták (−28672). A művelet elvégzésében egy saját, C nyelven írt program segített (MODIS Quality Control Tool néven), ami ASCII GRID formátumban olvassa be a sávok adatait. A MOD13A1 adatoknál az előre definiált nincs adat érték a −3000. A meghatározott feltételek szigorúsága hasonló a MOD09A1 és a MOD13A1 esetén.

Az adatok pontosságát meghatározza a felhőszűrés pontatlansága, a megfigyelési és megvilágítási geometriai helyzetek váltakozása, az átlagoláshoz felhasznált felhőszűrt adatok eltérő mennyisége, vagy a légköri korrekció pontatlansága. Az adatbázis úgy is tisztítható, hogy nem vesszük figyelembe sem a 40 foknál nagyobb zenitszögű, sem a 25%-nál kisebb adatlefedettséget biztosító áthaladásokat (KERN et al. 2014); ez a módszer a tanulmányban nem került alkalmazásra.

Az adatok feldolgozását előkészítését nyílt forráskódú térinformatikai program környezetben végeztük el: SAGA GIS 2.1.2, QGIS 2.4-Chugiak (Python 2.7.5, GDAL 1.11.0, GRASS GIS 6.4.3 integrálva), R 3.1.2. statisztikai szoftver, MODIS Reprojection Tool 4.1, LDOPE Tools 1.7 és Code:Blocks 10.05.

A vizsgálati módszertan

A MOD09A1 adatokkal történő aszálylehatárolásnak eddig egyetlen létező módszere a normalizált differenciált aszályindex (NDDI). Az NDDI az NDVI és az NDWI (normalizált differenciált vízindex) spektrális indexekből származtatható (1-1) (GU et al. 2007):

$$\text{NDDI} = (\text{NDVI} - \text{NDWI}) / (\text{NDVI} + \text{NDWI}) \quad (1-1)$$

ahol:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{vörös}_{645 \text{ nm}}),$$

$$\text{NDWI} = (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}),$$

NIR: közeli infravörös, SWIR: rövidhullámú infravörös.

A ROUSE et al. (1973) által kifejlesztett NDVI a növényzetborítás biofizikai állapotának jellemzésére használatos. Ha több látható fényt abszorbeál a növény, miközben közeli infravörös sugárzásnál sokat reflektál, akkor dúsabb és egészségesebb a növényzet. Magasabb NDVI-érték a levélzet nagyobb életerejét és fotoszintetikus kapacitását jelzi.

Az NDWI a növénylombozat nedvességtartalmának jellemzésére való. A növényekben található víz abszorpciója a 858 nm körüli tartományban elhanyagolható, míg a 2130 nm körüli hullámhossz-tartományban magas. Ha csökken a víztartalom, akkor ebben a tartományban megnő a reflektancia. CHEN et al. (2005) MODIS műholdak használatával kukorica és szójabab nedvességtartalmának becslésére használta a $\text{NIR}_{858 \text{ nm}}$ és a $\text{SWIR}_{1640 \text{ nm}}$, illetve $\text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}$ sávokra számított spektrális indexeket. Mindkettő lehetőséget mutatott a vegetáció-nedvességtartalom becslésében. Ez az NDWI a GAO (1996) által kifejlesztett változat. GU et al. (2007) MOD09A1 adatbázisra támaszkodó vizsgálatában az NDWI erősebben reagált az aszályos állapotokra, mint az NDVI. Aszályos körülmények között mindkét változó értéke alacsonyabb volt ($\text{NDVI} < 0,5$ és $\text{NDWI} < 0,3$), mint aszálymentes viszonyok között ($\text{NDVI} > 0,6$ és $\text{NDWI} > 0,4$).

A sekély, vagy magas hordaléktartalmú vízfelületeknél a MODIS légköri korrekció nem tökéletes. A fitoplankton jelenlét, vagy a lebegtetett hordalék koncentráció növeli az infravörös reflektanciát (CHEN et al. 2013, WANG et al. 2013), így a vízfelületek egyes részei az NDDI esetén aszályosnak osztályozódhatnak. Jelen tanulmányt képező vizsgálatnál csak a Balatont zártuk ki a vizsgálatból.

Az NDDI számítása során az értékek nagy része -1 és $+1$ közötti intervallumba transzformálódik, azonban – az előfeldolgozás ellenére – szélsőségesen kiugró értékek (ezres nagyságrendben) is keletkeznek, ami statisztikai elemzéseknél komoly hátrányt jelent; lehetetlenné teszi például a klaszteranalízis használatát. A differenciált aszályindex (DDI) használatával relatív értelemben lényegesen kisebb kiugró értékek keletkeznek, mint az NDDI-nél, ugyanis ez esetben egy széles értéktartományba esnek az értékek. Ezért a normalizált differencia index helyett egyszerűen csak differencia indexszel számolunk (1-2):

$$\text{DDI} = \text{DVI} - \text{DWI} \quad (1-2)$$

ahol:

$$\text{DVI (differenciált vegetáció index)} = \text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}},$$

$$\text{DWI (differenciált víz index)} = \text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{SWIR}_{2130 \text{ nm}}.$$

Az új, optimalizált indexek, mint amilyen az EVI is, hibridként egyesítik más mérőszámok jellemzőit. Az EVI az NDVI korrekciós tényezőkkel ellátott változata, minimalizálja a légköri zavaró hatásokat és eltávolítja a talaj-fényesség indukálta változásokat (1-3) (SOLANO et al. 2010):

$$\text{EVI} = G \cdot ((\text{NIR}_{858 \text{ nm}} - \text{vörös}_{645 \text{ nm}}) / (\text{NIR}_{858 \text{ nm}} + C_1 \cdot \text{vörös}_{645 \text{ nm}} + C_2 \cdot \text{kék}_{469 \text{ nm}} + L)) \quad (1-3)$$

ahol:

NIR/vörös/kék sávok: légkörileg helyesbített felszíni reflektancia értékek,

L: lombozat háttér igazítás a nem lineáris, differenciális közeli infravörös és látható vörös, levélen keresztül történő sugárzási átvitel korrigálására,

C_1 , C_2 : aeroszol-ellenállás együtthatók (ami a látható kék sávot használja a légköri aeroszolok zavaró hatásainak az ellensúlyozására a látható vörös sávban)

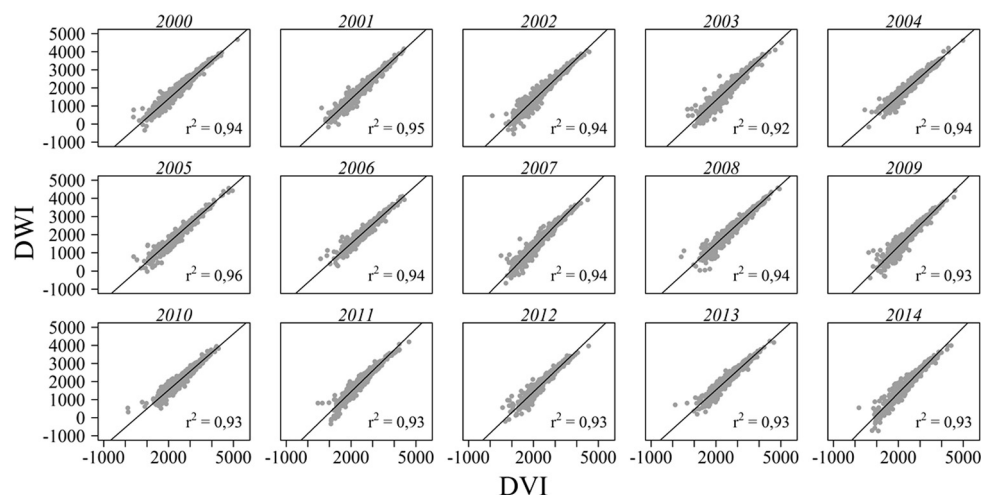
G: erősítés vagy skálázási tényező.

Az együtthatók értékei: $L=1$, $C_1=6$, $C_2=7,5$ és $G=2,5$.

Az aszályosságot elsősorban síkvidéken vizsgáljuk, így nem okoz gondot, ha a DDI nem számol a különböző megvilágításból, lejtésből adódó sugárzásbeli eltéréseket kiküszöbölő normalizálással.

A DWI-DVI és az NDWI-NDVI közötti kapcsolat

Az NDDI és a DDI indextényezők közötti kapcsolat jellemzésére lineáris regressziót számítottunk, amelyet véletlen mintára futtattunk le, 500-600 elem alapján. Minden időpontra ugyanazokat a pixeleket válogattuk le. A DWI és a DVI között rendkívül erős kapcsolat áll fenn, a determinációs együtthatók értékei júniusban 0,88 és 0,95 között, júliusban 0,92 és 0,96 között mozognak (2. ábra). Az NDVI és az NDWI közötti kapcsolat gyengébb, a determinációs koefficiensek nagyobb változékonyságot mutatnak (r^2 értékek 0,66-0,85 és 0,78-0,91 között).



2. ábra A differenciált vegetáció- és vízindex közötti kapcsolat a júliusi időpontban.

Figure 2. Connection between the DVI and DWI on the examined date in July

Az NDVI-t évtizedek óta eredményesen használják vegetáció vizsgálatára (ROUSE et al. 1973). A korrelációs együtthatók bizonyítják a vízindexek használhatóságát az aszályok vizsgálatában, mivel a növényzet klorofill- és nedvességtartalma nagyon szorosan együtt mozog. Az NDWI-NDVI közötti kapcsolat önmagában érvényesíti a biomassza nedvességtartalmát meghatározó vízindexeket, vagyis a növényzet aszályra adott válaszában a vizsgálatára alkalmas az NDWI és a DWI is, habár nem elterjedt a használatuk.

Eredmények

Az aszály kiterjedésének meghatározása DDI és NDWI alapján

Az aszálykategória értékhatárok megadásánál a klaszteranalízis előnye, hogy a magukból az adatokból nyeri ki az információt. FORGY (1965) minimális spektrális távolságok módszere alapján először a DDI-re futtattunk klaszteranalízist. Nyolc kimenő osztály esetén hozta a legjobb eredményt az eljárás. Jól elkülönülő, hasonló mértékű aszályos pixeleket tartalmazó osztályok jöttek létre.

A DDI átlagot számoltunk a vizsgált időpontokra, majd az időpontonként vett átlagokat is átlagoltuk ($DDI_{június}=505,67$ és $DDI_{július}=520,95$). Ha a DDI középértéke meghaladja ezt az átlagértéket, akkor az év aszályosnak tekinthető. Ez alapján júniusban 2000-2003 és 2009, míg júliusban 2000-2003, 2007, 2009, 2012 és 2014 tekinthetők aszályos éveknek. Az aszályos évek DDI átlagértékeiből számtani átlagot képeztünk ($DDI_{június}=578,86$ és $DDI_{július}=586,25$), hogy megkapjuk a DDI-nek a vizsgált időpontokra vonatkozó aszályossági küszöbértékét. Adott osztály aszályosnak tekinthető, ha az osztályközepe meghaladja ezt a küszöbértéket. Az aszályos, illetve a nem aszályos évek átlaga közötti különbség a két hónap idősorára vonatkozóan 122, illetve 140. Az osztályközepek alapján a különböző időpontokból származó osztályokból négy aszálykategória különíthető el (2. táblázat). Az aszályos és nem aszályos DDI-értékek közti határérték ($DDI=650$) magasabb az aszályossági küszöbértéknél, így nem becsültük túl az aszály kiterjedését a nem aszályos években. A DDI értékét befolyásoló egyik tényező, a DWI átlagértéke júliusban az aszályos években 1856, míg a hűvösebb és nedvesebb években 2197 volt. A másik tényező, a DVI esetében az értékek 2442, illetve 2639. A különbségek alapján a DWI jobban reagál az aszályos állapotokra. A júniusi értékek-nél is a DWI mutat nagyobb differenciát, igaz kisebb mértékben; 189 (aszály átlag 2082, aszály hiányában 2271), a 107-et adó DVI-vel szemben. A vízindexek érzékenyebbek az aszályra, mint a vegetációindexek.

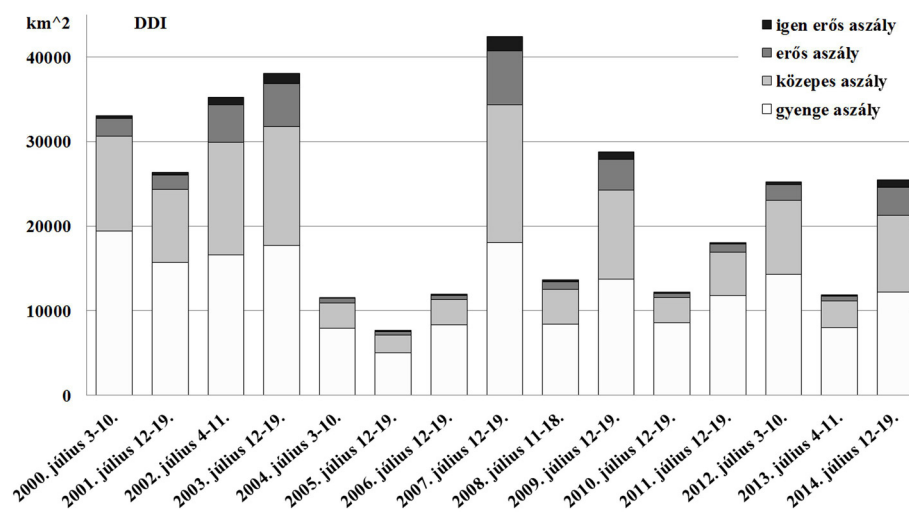
Az NDDI-nél tapasztalt statisztikai problémák miatt, a vízindexek érzékenységét kihasználva az aszályossági kategóriákat az NDWI-re számoltuk ki, de a nem aszályos területeket is felosztottuk a nedvességtartalom nagysága szerint (2. táblázat).

A klaszterközepek átlagolásából nyert értékhatárok jobban elkülönítik az aszálykategóriákat, mintha az átlagnál nagyobb értékeket csak egyenlő intervallumokra osztottuk volna.

2. táblázat A júliusi adatsor alapján kialakított aszályossági kategóriák DDI és NDWI
Table 2. The created drought categories based on DDI and NDWI in July

DDI-kategóriák	Leírás	NDWI-kategóriák	Leírás
$DDI < 0$	Nedves, vízborítás	$0,7 \leq NDWI$	Igen nagy nedvességtartalom
$0 \leq DDI < 650$	Nem aszályos	$0,6 \leq NDWI < 0,7$	Nagy nedvességtartalom
$650 \leq DDI < 812$	Gyenge aszály	$0,6 \leq NDWI < 0,5$	Közepes nedvességtartalom
$812 \leq DDI < 1053$	Közepes aszály	$0,4 \leq NDWI < 0,5$	Alacsony nedvességtartalom
$1053 \leq DDI < 1319$	Erős aszály	$0,3 \leq NDWI < 0,4$	Gyenge aszály
$1319 \leq DDI$	Igen erős aszály	$0,2 \leq NDWI < 0,3$	Közepes aszály
		$0 \leq NDWI < 0,2$	Erős aszály
		$NDWI < 0$	Igen erős aszály

Az aszálykategóriák meghatározásánál az NDWI-nél kihagytuk a gyenge aszály kategóriát, mert azzal túlbecsültük volna az aszály kiterjedését; az NDWI esetén a 0,3-nél kisebb értékű cellák aszályosak. Így a DDI és NDWI szerinti eredmények jól egybevágnak ($r^2=0,91$). Az aszályos éveket tekintve a DDI általában több aszályos területet mutat (3. ábra).



3. ábra Az aszályllyal érintett területek nagysága a júliusi időpontokban, a DDI szerint.

Figure 3. Extent of drought affected areas in July according to DDI

A DDI szerint az aszály kiterjedése a vizsgált időszak júliusában átlagosan 22 778 km² volt, a várakozásnak megfelelően 2000-2003, 2007, 2009, 2012. és 2014. években haladta meg ezt a középértéket. Az aszály területi kiterjedése DDI szerint 2005-ben, NDWI szerint 2004-ben volt a legkisebb Magyarországon (7669 km², illetve 7454 km²). A legnagyobb aszály, a 2007. évi DDI alapján 42 452 km²-t érintett. NDWI esetében a 2000. év 2007-nél kicsit több területet érintett (35 846 km²), de az erősen és az igen erősen aszályos területek nagysága itt is 2007-ben csúcsosodott ki (a DDI esetében még a közepesen erős aszályterületek is). A legaszályosabb évek rangsorában ezek után 2003 és 2002 következik. Nagy különbséget mutatnak a differenciált aszályindex középértékei 2007-ben, ami arra utal, hogy az az évi súlyos aszály júliusban jelentkezett először. Ezzel szemben, a 2003-as aszály már júniusban is erősen érzékelhető volt. Egymást követő évek közötti különbség szempontjából kiemelhetők a 2003–2004, valamint 2006–2007 évek. A júliusi időpontok NDWI alapú aszályosságának földrajzi eloszlását mutatja a 4. ábra, ahol jól látható a Duna-Tisza köze aszályllyal szembeni nagy érzékenysége.

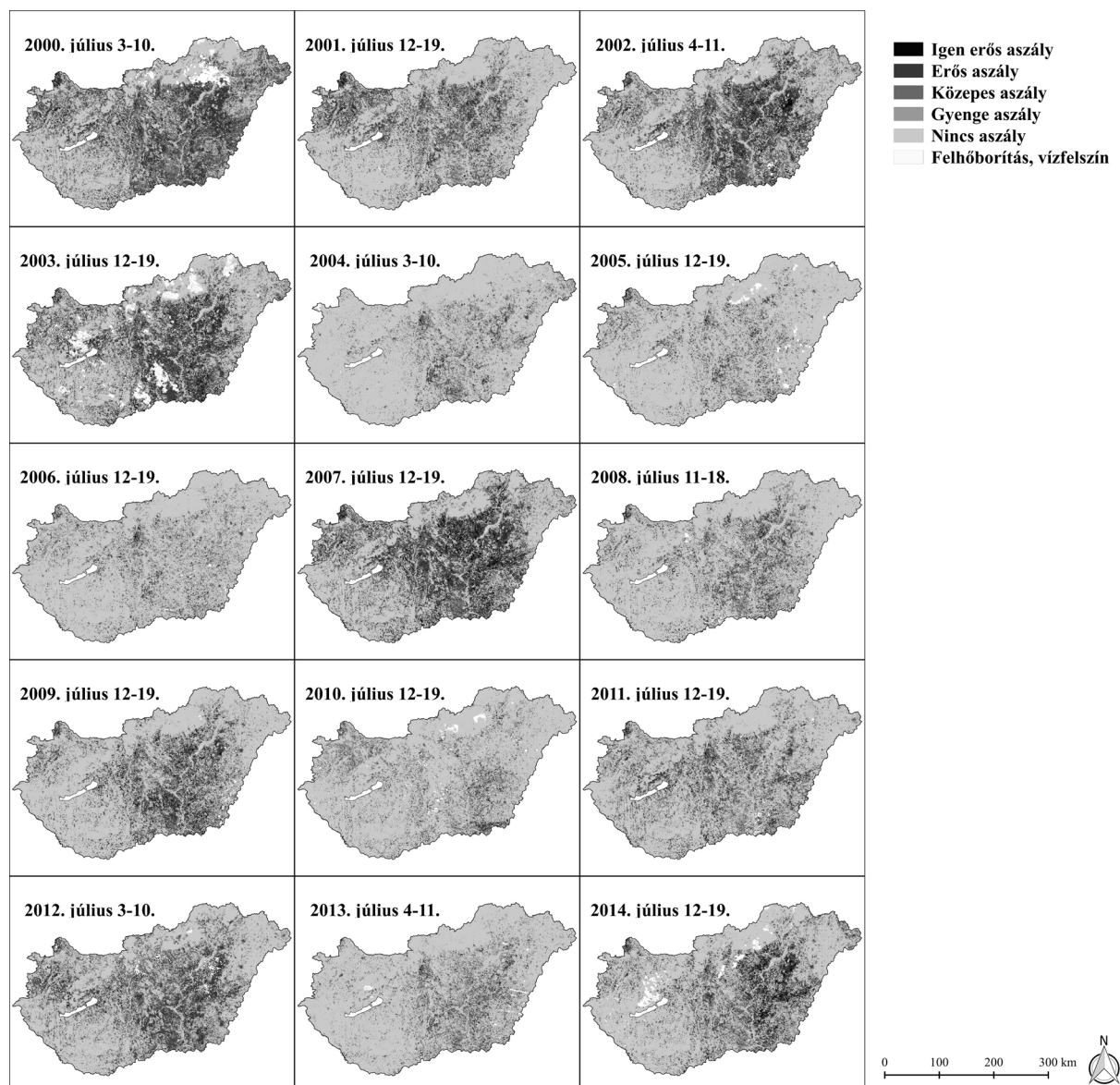
Eredményeink összevetése a referenciaadatokkal

A spektrális indexek érvényességének megállapítására értékeinknek a Pálfa-féle aszályindexszel való kapcsolatát vizsgáltuk Magyarország teljes területére, valamint az Alföldre. PÁLFAI (2011) alapján a nagytáj nyugati határát a Duna középvonalában húztuk meg. Az országos PAI-t a Nemzeti Aszálystratégia vitaanyaga tartalmazza (VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM 2012).

A spektrális indexek teljesítőképességének értékelésére összevetettük őket a KSH alábbi referenciaadataival; gabonafélék¹ termésátlaga (2000–2013), a búza és a kukorica termésmennyisége (2000–2012), a mezőgazdasági öntözővíz-felhasználás (összes értékesített víz öntözésre, beleértve a rizstermelést, 2000–2011). Az adatok csak a mezőgazdasági területekre vonatkoznak ezért a DDI adatokból a CORINE Land Cover 2012 adatbázis "nem-öntözött szántóföldek" kategória szerinti területeket vágtuk ki. Jelenlegi dolgozatunkban a búza, kukorica, gabona termésterületeket is a CLC 2012 szántóterületeihez tudtuk viszonyítani. A mezőgazdasági területek KERN et al. (2014) szerint az adatsor ismeretében is lehatárolhatók, mivel

¹ Búza, durumbúza, rozs, árpa, zab, triticales, kukorica, kétszeres, rizs, egyéb kalászosok (indián rizs, köles, kanárimag, cirok, pohánka).

adott évben a hasonló vegetációs ciklussal rendelkező szántóföldi növények általában hasonló módon fejlődnek.



4. ábra Az aszályos területek földrajzi eloszlása az NDWI alapján, a júliusi időpontokban.

Figure 4. Geographic distribution of drought areas according to NDWI in July

A júniusi spektrális index értékek nem teljesítettek olyan jól, mint a júliusi értékek. A Pál-fai-féle aszályindexszel fennálló kapcsolatok gyengének bizonyultak az Alföld területére nézve és országosan egyaránt. Itt az összetett aszályindexek (DDI, NDDI) teljesítettek valamivel jobban (DDI és országos PAI között $r^2=0,54$, míg az NDDI és alföldi PAI között $r^2=0,52$). A termésadatokkal fennálló korrelációk nagyon gyengék, leszámítva a búza évi termés mennyisége és az EVI, illetve a DWI között fennálló valós kapcsolatot ($r^2=0,62$). Az öntözővízzel egyik index sem mutat kapcsolatot.

A kapcsolatok értékei júliusban a várakozásnak megfelelően alakultak. A DDI, az NDDI és a PAI értékek között monoton növekvő, míg a vegetáció- és vízindex értékek és a PAI értékek között monoton csökkenő trend figyelhető meg. Az aszályindexek és a termésadatok között fordított arányosság áll fenn, míg öntözővíz-használattal egyenes arányosságban állnak. A vegetáció- és vízindexeknél fordított a helyzet: a termés és a spektrális indexek között egyenes

arányosság, illetőleg az öntözővíz-használat esetén fordított arányosság figyelhető meg. A normalizált differenciált indexek erősebb kapcsolatot mutatnak a statisztikai adatokkal, mint a különbségindexek; leszámítva a DDI-t, ami az NDDI-hez hasonlóan teljesített (3. táblázat).

A júliusi korrelációs együtthatók alapján nem az aszályindexek teljesítettek legjobban, hanem az NDWI. A NDWI és az alföldi PAI kapcsolata a legerősebb az adatsorban; és az index az országos PAI értékkel is erős kapcsolatot mutat. A mezőgazdasági területeken a gabona termésátlag–NDWI és a kukorica termésátlag–NDWI kapcsolatok is erősek és az öntözővíz-használatnál is meglepően magas a determinációs együttható. A DWI sem sokkal maradt el a fenti értékektől, csak az öntözővíz esetén szerepelt gyengébben.

3. táblázat Az indexértékek determinációs együtthatói (r^2) a júliusi adatsor szerint.
Table 3. Performance comparison of indices according to values of the correlation coefficients (r^2) in July

Index	PAI _{Alföld}	PAI _{ország}	Gabona [kg/ha]	Kukorica [kg/ha]	Búza [kg/ha]	Öntözővíz [millió m ³]
MOD09A1 DDI	0,87	0,81	0,67	0,63	0,37	0,51
NDDI	0,85	0,77	0,65	0,64	0,31	0,48
DWI	0,81	0,75	0,79	0,77	0,47	0,52
NDWI	0,90	0,80	0,80	0,78	0,48	0,64
DVI	0,60	0,62	0,69	0,68	0,42	0,42
NDVI	0,78	0,71	0,72	0,73	0,44	0,64
MOD13A1 EVI	0,63	0,67	0,81	0,76	0,41	0,35

A DDI esetében igen erős a kapcsolat a PAI-val mind az Alföldön, mind pedig az ország egész területén. A gabonafélék termésátlagával, a kukoricatermással közepesen erős a kapcsolat, míg a mezőgazdasági vízfelhasználással gyenge kapcsolat áll fenn.

A vegetációindexek közül a DVI és EVI kapcsolata a gabona és a kukorica termésátlagával erősebb, mint a DDI vagy az NDDI esetén. Az NDVI és a PAI között erősebb kapcsolat áll fenn. A gabona termésmennyiségével és a kukorica terméshozamával hasonló erősségű kapcsolatot mutat, mint a DVI. A mezőgazdasági öntözővíz-felhasználás és az NDVI közötti kapcsolat erőssége – holtversenyben az NDWI-vel – a legnagyobb a vizsgált indexek közül.

A búza aratási időszakában a learatott táblák spektrális index átlagát hasonlítottuk a termésmennyiséghez, így a búza termésátlagaira vonatkozó regressziók nem érvényesek. Az egyes gabonafélék termésterületeit nem különítettük el egymástól.

A DDI–PAI, illetve az NDWI–PAI között felállított erős lineáris összefüggések lehetővé teszik az említett spektrális indexek PAI-ra történő átszámítását, amelyet a 1-4 egyenletnél az Alföldre mutatunk be. Így nyomon lehet kísérni az aszály alakulását a PAI-val is (5. ábra).

$$\begin{aligned} \text{DDI} &= +39,543 \cdot \text{PAI} + 349,980 \\ \text{PAI} &= +0,022375 \cdot \text{DDI} - 7,103061 \end{aligned} \quad (1-4)$$

$$\begin{aligned} \text{NDWI} &= -0,025268 \cdot \text{PAI} + 0,558166 \\ \text{PAI} &= -36,082 \cdot \text{NDWI} + 20,697 \end{aligned} \quad (1-5)$$

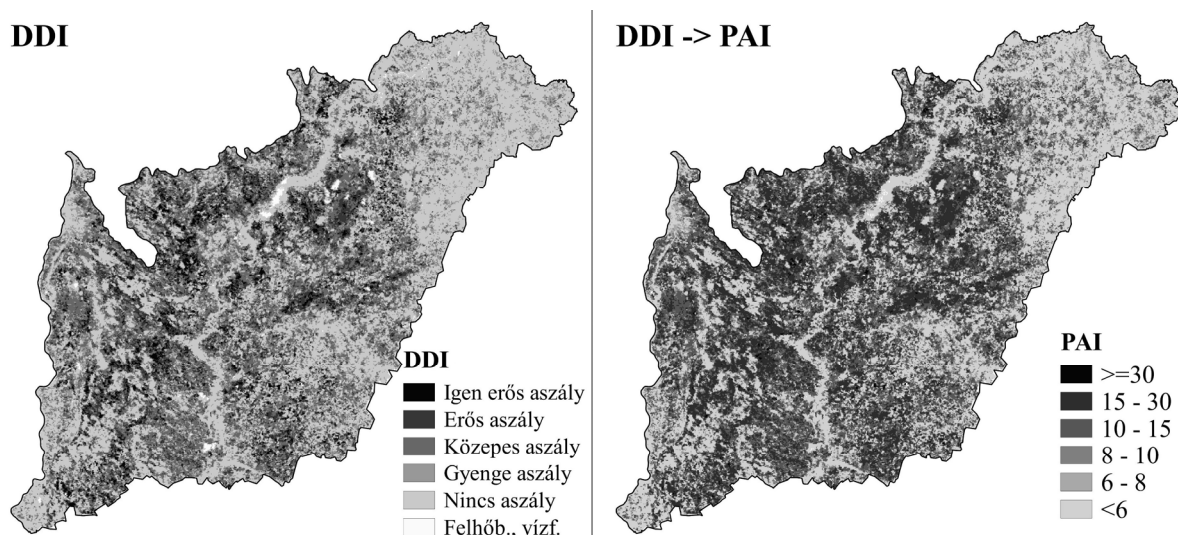
Eredmények és megvitatásuk

Az új távérzékelésen alapuló aszályindex, a differenciált aszályindex várakozáson felül teljesített a vizsgálat során, ezt bizonyítja a Pálfa-féle aszályindexszel fennálló nagyon szoros kapcsolata. Igaz, hogy a DDI és az NDDI aszályindexek kombinálják a víz- és vegetációindexeket, de mégsem teljesítettek jobban az NDWI-hez képest, ami a ma létező legjobb vegetáció-nedvességtartalom index. A DDI–PAI, illetve az NDWI–PAI között felállított erős lineáris összefüggések lehetővé teszik az említett spektrális indexeknek a Pálfa-féle aszályindex-

re történő átszámítását, így MODIS műholdképek alapján, kielégítő pontossággal 8 napos PAI-értékeket tudunk meghatározni.

Eredményeink igazolják, hogy a jövőben várhatóan előtérbe kerülnek majd azok az indexek, amelyek a növényzet víztartalmában bekövetkező változásokat érzékelik, mivel aszály esetén gyorsabban következik be a növényzet vízvesztesége, mint a klorofilltartalom csökkenése, így a vízindexek érzékenyebben követik a levélzet biofizikai változásait.

A DDI megfelelően teljesített az aszály érzékelésében, mégsem feltétlenül a legjobb választás. A termésadatokkal még az NDVI is szorosabb kapcsolatot mutat, mint a DDI vagy az NDDI (de az EVI, mint optimalizált index, sem teljesített jobban, mint az NDVI).



5. ábra A DDI-ből számított Pálfi-féle aszályindex-értékek ($^{\circ}\text{C}/100\text{ mm}$) a 2007 júliusában az Alföld mintaterületen

Figure 5. Pálfi drought index values ($^{\circ}\text{C}/100\text{ mm}$) calculated from DDI on the Hungarian Plain study area (bounded by the River Danube in the west) in July 2007

A júniusi és a júliusi eredmények referenciaadatokkal való összevetését általánosságban nézve július hónap meghatározóbbnak bizonyult a terméshozam kialakításában. Az összehasonlító értékelés során számításba kell vennünk, hogy a termésátlagokat az aszályon kívül számtalan egyéb környezeti tényező befolyásolja. Az aratás időpontja nem állandó, évről-évre változik (attól függően, hogy mennyi csapadék hullik, mekkora hőösszeget kapnak a növények stb., de még fajonként is eltér). Az aszályon kívül a hűvös, csapadékos idő, a belvíz vagy a kártevők is károsíthatják a termést. Egy-egy szélsőséges időjárási esemény (pl. felhőszakadás, jégverés) is jelentős károkat okozhat a terményben. A növények alkalmazkodóképessége is eltérő, így másképpen reagálnak az aszályos körülményekre. A talaj termékenysége, vízgazdálkodási jellemzői is befolyásolják a termésátlagokat. A spektrális indexek értékei a talaj minőségi jellemzőit is tükrözik. Évenként és területenként is különböző erősségű lehet a spektrális indexek és a termésmennyiségek közötti kapcsolat. Sőt egyes hónapok is meghatározóbbak lehetnek a terméshozam kialakításában, mint a többi.

A statisztikai eredményekben az is tükröződhet, hogy az aszályindex inkább a mezőgazdasági aszályt (a növények biofizikai változásain keresztül), míg a PAI inkább a meteorológiai aszályt érzékeli (meteorológiai állomások csapadék- és hőmérséklet adatsorain keresztül). Ráadásul a meteorológiai mérőállomások egymástól vett távolsága nagy (akár több 10 km), ezért az adatok geometriai felbontása lényegesen kisebb, mint amit az 500 méteres részletességű MOD09A1 felszíni reflektancia adatok biztosítanak. A térbeli felbontás különbségei befolyásolhatták a lineáris illesztés szorosságát. Igaz ez akkor is, ha a légköri zavaró hatások miatt sok MODIS képpontot ki kellett zárni a vizsgálat köréből, ami az eredmények bizonytalansá-

gát növeli. Vizsgálatunk során olyan felvételeket választottunk, amelyek felhőmentes időben készültek, így a légköri hatások hibáit a lehető legalacsonyabb szinten tartottuk.

A MODIS nagy időfelbontású termékei lehetővé teszik az egész tenyészidőszakra kiterjedő elemzést. Ezen keresztül teljesebb képet kaphatunk a biofizikai indikátorok jellegéről, az indexeknek a gabonafélék fotoszintetikus aktivitásával és nedvességi állapotával fennálló összefüggéseiről. Az alkalmazott spektrális indexek más, nagyobb geometriai felbontású műholdképeken is alkalmazhatók (pl. LANDSAT program), de a kisebb időfelbontás és az esetleges felhőborítás okozta probléma miatt nem alapozhatunk rájuk hasonló monitoringot.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült

Irodalom

- BLANKA V., LADÁNYI ZS., MEZŐSI G. 2014: A jövőben várható klímaváltozás a régióban. In: BLANKA V., LADÁNYI ZS. (szerk.) *Aszály és vízgazdálkodás a Dél-Alföldön és a Vajdaságban / Suša i upravljanje vodom u južnoj mađarskoj ravnici i Vojvodini / Drought and water management in South Hungary and Vojvodina*: Szegedi Tudományegyetem, Természeti Földrajzi Tanszék, Szeged, pp.142–151.
- CHEN D., HUANG J., JACKSON T. J. 2005: Vegetation water content estimation for corn and soybeans using spectral indices derived from MODIS near- and short-wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment* 98: 225–236.
- CHEN J., QUAN W., ZHANG M., CUI T. 2013: A Simple Atmospheric Correction Algorithm for MODIS in Shallow Turbid Waters: A Case Study in Taihu Lake. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 6(4): 1825–1833.
- DMCSEE 2010-2014: Drought bulletin for every months. http://www.dmcsee.org/en/drought_bulletin/?Fstran=1,
- FIALA K., BLANKA V., LADÁNYI ZS., SZILASSI P., BENYHE B., DRAGAN, D., PÁLFAI, I. 2014: Drought severity and its effect on agricultural production in the Hungarian-Serbian cross-border area. *Journal of Environmental Geography* 7 (3–4): 43–51.
- FORGY W. E. 1965: Cluster analysis of multivariate data: Efficiency versus interpretability of classification. *Biometrics* 21: 768–769.
- GAO B. C. 1996: NDWI – A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing of Environment* 58: 257–266.
- GU Y., BROWN J. F., VERDIN J. P., WARDLOW B. 2007: A five-year analysis of MODIS NDVI and NDWI for grassland drought assessment over the central Great Plains of the United States. *Geophysical Research Letters* 34: doi:10.1029/2006GL0291
- HORVÁTH SZ. 2002: Spatial and temporal patterns of soil moisture variations in a sub-catchment of River Tisza. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 27(23–24): 1051–1062.
- KERN A., BOGNÁR P., PÁSZTOR SZ., TIMÁR G., LICHTENBERGER J., FERENCZ CS., STEINBACH P., FERENCZ O. 2014: Közvetlen vételi MODIS adatok alkalmazásai Magyarország térségére. *Távérzékelési Technológiák és Térinformatika* 4(1): 5–13.
- KOVÁCS F. 2012: MODIS műholdkép alapú vegetáció-monitoring 2000-2011 között. In: LÓKI J. (szerk.) *Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában*: III. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen. pp. 223–229.
- McKEE T. B., DOESKIN N. J., KIEIST J. 1993: The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. *Proceedings of 8th Conference on Applied Climatology*, Boston. pp. 179–184.
- MU Q., ZHAO M., KIMBALL J. S., MCDOWELL N. G., RUNNING S. W. 2013: A Remotely Sensed Global Terrestrial Drought Severity Index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 94(1): 83–98.
- NÉBIH 2014: Egyre több a mezei pocok, https://www.nebih.gov.hu/aktualitasok/hirek/06_03_mezei_pocok.html,
- NÉMETH Á., BELLA SZ., SZALAI S. 2004: A térinformatika alkalmazhatósága az aszályérzékenység vizsgálatában. In: *A magyar földrajz kurrens eredményei. A II. Magyar Földrajzi Konferencia 2004 CD kötete*: SZTE TFGT, Szeged. p. 11.
- PÁLFAI I. 1989: Az Alföld aszályossága. *Alföldi Tanulmányok* 13: 7–25.
- PÁLFAI I. 2004: Az aszály definíciói, befolyásoló tényezői és mérőszámai. In: PÁLFAI I. (szerk.) *Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai Tanulmányok: Közlekedési Dokumentációs Kft., Budapest*. pp. 255–263.
- PÁLFAI I. 2011: Aszályos évek az Alföldön 1931-2010 között. In: RAKONCZAI J. (szerk.) *Környezeti változások és az Alföld: Nagyalföld Alapítvány Kötetei* 7., Békéscsaba. pp.87–96.
- PALMER W. C. 1965: Meteorological Drought. Research Paper No. 45. U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C. p.58.
- RAKONCZAI J. 2011: Effects and consequences of global climate change in the Carpathian Basin. In: BLANCO J., KHERADMAND H. (eds.) *Climate change – Geophysical foundations and ecological effects*: Intech, Rijeka, pp. 229–232.
- ROUSE J. W., HAAS H. R., SCHELL A. J., DEERING W. D. 1973: Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 1. pp.309–317.
- ROY D. P., BORAK J. S., DEVADIGA S., WOLFE R. E., ZHENG M., DESCLOITRES J. 2002: The MODIS Land Product Quality Assessment Approach. *Remote Sensing of Environment* 83: 62–76.

- SOLANO R., DIDAN K., JACOBSON A., HUETE A. 2010: MODIS Vegetation Index User's Guide (MOD13 Series). The University of Arizona Vegetation Index and Phenology Lab. p.38.
- SZALAI S. 2012: Az aszály definíciói. In: BIHARI Z. (szerk.) Délkelet-Európai Aszálykezelési Központ DMCSEE projekt. Összefoglaló a projekt eredményeiről: Országos Meteorológiai Szolgálat. pp.7–10.
- UNISDR (UNITED NATIONS INTERNATIONAL STRATEGY FOR DISASTER REDUCTION) 2009: Terminology on Disaster Risk Reduction. p.35. http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologyEnglish.pdf
- VERMES L. (szerk.) 2000: Hogyan dolgozzuk ki az aszály csökkentési stratégiáját? ICID Útmutató. ICID Európai Regionális Aszály Munkacsoport, Budapest.
- VERMOTE E. F., KOTCHENOVA S. Y. 2008: MOD09 (Surface Reflectance) User's Guide. Version 1.1. MODIS Land Surface Reflectance Science Computing Facility. p.29.
- VIDÉKFEJLESZTÉSI MINISZTERIUM 2012: Az aszály kezelésének hosszú távú koncepciójáról. Konzultációs anyag. Budapest, p.88. <http://2010-2014.kormany.hu/download/7/0a/90000/Aszalystrategia.pdf>
- WANG M., SON S., ZHANG Y., SHI W. 2013: Remote Sensing of Water Optical Property for China's Inland Lake Taihu Using the SWIR Atmospheric Correction With 1640 and 2130 nm Bands. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 6(6): 2505–2516.
- WILHITE D.A., GLANTZ M. H. 1985: Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Water International 10(3): 111–120.
- WISNER B., BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I. 2004: At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. London, Routledge, p.124.
- ZARGAR A., SADIQ R., NASER B., KHAN F. I. 2011. A review of drought indices. Environmental Reviews 19: 333–349.

Önálló web hivatkozások

- http://drought.unl.edu/portals/0/user_image/basics/climvarBW.JPG, National Drought Mitigation Center
- http://fish.fomi.hu/letoltes/nyilvanos/corine/CLC12_hu.zip, CLC2012 adatbázis
- <http://glovis.usgs.gov>, GLOVIS adatbázis
- http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omf001a.html, Földhasználat művelési ágak és gazdaságcsoportok szerint (1990–)
- http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007.html, A fontosabb szántóföldi növények betakarított területe, összes termése és termésátlaga (1990–)
- http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_uw001.html, Mezőgazdasági vízfelhasználás (2000–)
- http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hosszu/h_omf001b.html, Mezőgazdaság (1960–)

DROUGHT MONITORING WITH SPECTRAL INDICES CALCULATED FROM MODIS SATELLITE IMAGES IN HUNGARY

A. GULÁCSI, F. KOVÁCS

¹University of Szeged, Faculty of Science and Informatics, Institute of Environmental Sciences
6701 Szeged, PB. 653. email: gulandras90@gmail.com

²University of Szeged, Faculty of Science and Informatics, Department of Physical Geography and Geoinformatics
6722 Szeged, Egyetem utca 2-6. email: kovacs@geo.u-szeged.hu

Keywords: drought, remote sensing, MODIS, monitoring, spectral indices

In this study a new remote sensing drought index called Difference Drought Index (DDI) was introduced. DDI was calculated from the Terra satellite's MODIS sensor surface reflectance data using visible red, near-infrared and short-wave-infrared spectral bands. To characterize the biophysical state of vegetation, vegetation and water indices were used from which drought indices can be derived. We utilized Difference Vegetation Index (DVI), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Difference Water Index (DWI), Normalized Difference Water Index (NDWI), Difference Drought Index (DDI) and Normalized Difference Drought Index (NDDI) in order to perform comparative analyses. The Difference Drought Index was proven applicable in quantifying drought intensity. However, after comparison with reference data NDWI performed better than the other indices examined in this study. The dataset confirmed that water indices are very sensitive to changes in drought conditions. In our MODIS satellite image based research DDI and NDWI performed best, which is proven by their strong link to Pálfi Drought Index (PAI). With the conversion of spectral index values to PAI values, we are capable of determining 8-day PAI values with adequate accuracy.